

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

**Hornicko – geologická fakulta
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti**

**Využití popelové složky pro stavební účely po zplyňování
hnědého uhlí ve zpracovatelské části Sokolovské
uhelné, a.s.**

**The use of the ash component for building purposes after
gasification of brown coal in the processing part of the
Sokolovska uhelna mining company**

diplomová práce

Autor:

Bc. Martin Gondáš

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Seidl

Ostrava 2014

Prohlášení studenta

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO

k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavru licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě

.....
Martin Gondáš

Anotace

Tato diplomová práce popisuje problematiku využití vedlejšího energetického produktu, v tomto případě generátorové škváry a její využití ve stavebnictví. Úvodní část je věnována procesu zplyňování hnědého uhlí. Následně je popsáno zpracování, redeponizace a využití škváry ve zpracovatelské části Sokolovské uhelné. Dále je hodnocen přínos komerčního využití vedlejších energetických produktů ve stavebnictví. Závěr je věnován ekonomickému zhodnocení.

Klíčová slova: zplyňování hnědého uhlí, vedlejší energetický produkt, škvára, popílek, stavební materiál

Summary

This thesis describes the topics concerning the usage of an energy by-product, in this case the generator slag and its usage in construction industry. The first part is devoted to the process of a brown coal gasification. Subsequently the thesis describes processing, redeponisation and the usage of slag in the processing part of the Sokolovska uhelna. The effect of commercial usage of the energy by-products in construction industry is evaluated in the next part. The conclusion is devoted to the economic evaluation.

Keywords: gasification of brown coal, energy by-product, slag, fly ash, construction material

Obsah

	Úvod	1
1	Popis procesu zplyňování hnědého uhlí	2
2	Zpracování a ukládání popelové složky ve zpracovatelské části SU, a.s.	9
2. 1	Zpracování popelové složky	9
2. 2	Ukládání a redeponizace	10
3	Legislativa a vedlejší energetické produkty	16
3. 1	Certifikace stavebních výrobků z VEP	16
3. 2	Související právní předpisy a normy	17
4	Možnost využití popílku ve stavebnictví	20
4. 1	Základní pojmy a definice	20
4. 2	Popílek do cementu a betonu	22
4. 3	Popílek do pórobetonu	25
4. 4	Popílkové stabilizáty	26
4. 5	Popílek pro výrobu umělého kameniva	28
4. 6	Popílek pro výrobu cihel	30
5	Ekonomický přínos a zhodnocení	31
5. 1	Poplatky za ukládání odpadů	31
5. 2	Provozní náklady – redeponizace VEP	33
6	Doporučení a závěr	44
	Seznam použité literatury	45
	Přílohy	47

Seznam použitých zkratk

ASVEP	Asociace pro využití energetických produktů
BS	Bagrovací stanice
REACH	Registrace, evaluace a autorizace chemických látek
SU, a.s.	Sokolovská uhelná, akciová společnost
TS ČR	Teplárenské sdružení České republiky
VEP	Vedlejší energetický produkt

Úvod

Popílký a jiné vedlejší energetické produkty se v posledních letech stávají významnou surovinou ve stavebnictví. Využívají se pro výrobu maltovin, popílkových směsí, cihlářských výrobků, pórobetonu, umělého kameniva, minerálních vláken, budování komunikací a dále při zahlazování hornické činnosti nebo pro sanace sypaných hrází atd.

Celková produkce energetických produktů v ČR (na základě poskytnutých informací od Asociace pro využití energetických produktů - ASVEP a Teplárenského sdružení ČR – TS ČR) je odhadována na cca 14 - 14,5 mil. tun ročně. Tyto energetické produkty prošly za poslední roky velmi pečlivým zkoumáním vlivu na lidský organismus a životní prostředí díky evropskému nařízení REACH. A výsledek zkoumání je ten, že tyto produkty nemají žádný negativní vliv na zdraví, ani na životní prostředí. Jsou také surovinou šetrnou k životnímu prostředí, šetří neobnovitelné přírodní zdroje a navíc již neprodukují žádné další emise CO₂, jsou významnou součástí Surovinové politiky státu [1,8].

1 Popis procesu zplyňování hnědého uhlí

Sokolovská pánev má dvě slojová souvrství. Největší zásoby obsahuje svrchní, nejmnocnější sloj Antonín, která se v západní části štěpí na 2 až 3 sloje. Jedná se o méně až středně prouhelněné energetické uhlí s nižším obsahem síry a vyšším obsahem vody. Od roku 2001 probíhá těžba již jen ve východní části pánve. Sloj se těží povrchově velkolomem Jiří, výhřevnost uhlí se pohybuje mezi 11,7 do 13,2 MJ/kg. Objem reálně vytěžitelných zásob na třech lomech těžených společnostmi Sokolovská uhelná, a.s. činil k 1. 1. 2012 cca 120 mil. tun uhlí. Objem těžeb bude zvolna klesat z úrovně 8,4 mil. tun (2010), resp. 7,5 mil. tun (2012) až na očekávaných cca 4 až 5 mil. tun ročně v letech 2020-2035. Životnost zásob na lomu Jiří postačí zhruba do roku 2025, na lomu Družba cca do roku 2035. Sokolovské uhlí se používá především v energetice i při výrobě některých karbochemických produktů. [8]

Ve zpracovatelské části SU, a.s. se hnědé uhlí zplyňuje kyslíkoparní směsí ve 26 tlakových generátorech s pevným (sesuvným) ložem postupem Lurgi. Výstupním médiem je generátorový plyn, který se dále čistí praním podchlazeným metanolem od nežádoucích příměsí na zařízení typu Rectisol. [2] Následně se energetický plyn přemění na elektrickou energii v paroplynové elektrárně.

Generátory se skládají z vlastního tělesa, dále z uhelné vpusti a popelové výpusti. Předsušené a nadrcené uhlí se dopravuje z úpravny na Generátorovnu pasovými dopravníky, kde se šípovými pluhy rozděluje do 26 zásobníků pro jednotlivé generátory. Ze zásobníků se uhlí do generátorů dávkuje přes tlakové nádoby se střídavým tlakem, tzv. uhelné vpusti. Uhelná vpust' je tlaková nádoba o vnitřním obsahu uhlí 2,5 t. Je rozebíratelně spojena s generátorem a přes násypky s uhelným zásobníkem.



Obrázek č. 1 Uhelná vpust' spojená s kopulí generátoru (zdroj : SU, a.s.)

Uhelná vpust' je vybavena těmito zařízeními:

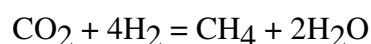
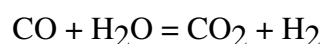
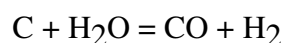
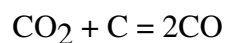
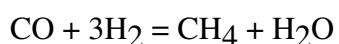
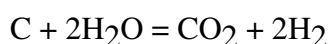
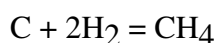
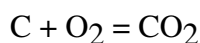
- spodní a horní kužel uhelné vpusti,
- zařízením na odsávání prachu při plnění uhelné vpusti uhlím,
- odporovým teploměrem, manometrem, radioaktivními zářiči a jejich snímači, které signalizují hladinu uhlí ve vpusti,
- skluzem pro uhlí,
- tlakovacím a odtlakovacím zařízením, které je ovládáno hydraulicky.

Pro tlakování uhelné vpusti je využíván plyn vyrobený v generátoru a je odebírán z výstupu plynu za předchladičem. Odtlakovávaný plyn je veden přes chladič odpadního plynu do plynojemů. Veškerá manipulace je prováděna hydromotory (hydraulickými válci) hydraulickou kapalinou o tlaku 6,3 MPa. Celý cyklus zauhlování je automatizován. Po

natlakování uhelné vpusti na provozní tlak v generátoru cca 2,7 MPa uhlí propadává do tlakové nádoby generátoru a postupně prochází reakčními pásmy:

- sušící – uhlí se zbavuje povrchové vlhkosti,
- karbonizační – zde se uhlí zbavuje uhlovodíků a vázané vody,
- redukční – níže uvedené chemické reakce,
- oxidační – níže uvedené chemické reakce,
- popelové – pásmo chrání otočný rošt před tepelným poškozením.

Základní reakce uplatňující se při zplyňování



Výška uvedených pásem se prolíná a mění v závislosti na kvalitě uhelné vsázky a dále na provozních podmínkách. Průchod uhelné vsázky ovlivňuje teplota, z původních 50 až na téměř 1500 °C v oxidačním pásmu. Zplyňovacím médiem je kyslíkoparní směs, která se mísí ve směšovacím ústrojí, vstupuje do spodní části generátoru a prochází otočným roštem, kde se rozděluje pomocí otvorů do celého průřezu šachty generátoru. Kyslíkoparní směs prochází uhelnou vsázkou, kde dochází k výše uvedeným chemickým reakcím a vzniku generátorového plynu. Plyn vystupuje z kopule generátoru do předchladiče o teplotě 400 °C. V předchladiči se nástřikem fenolové vody zbaví hrubých nečistot a zchladí na teplotu 200 °C, plyn dále protéká nepřímým chlazením, kde dochází k oddělení plynového kondenzátu a o teplotě 30 °C se dodává na Rectisol. Po vyprání H₂S a částečně i CO₂ vstupuje do Paroplynového cyklu. Plynový kondenzát, který se zchladí na cca 70 °C prochází beztlakým dělením (fenolová voda, lehký dehet, těžké podíly) k dalšímu zpracování. [2]

Tabulka č. 1 Složení surového generátorového plynu v % objemu

	Průměr	Rozpětí obsahu
kyslík	0,19	0,1 – 0,2
argon	0,29	0,19 – 0,52
dusík	0,51	0,28 – 0,7
metan	10	9,7 – 12,9
oxid uhelnatý	13,67	12,34 – 16,52
oxid uhličitý	32,82	31,8 – 34
ethen	0,16	0,11 – 0,23
ethan	0,69	0,59 – 0,83
propan	0,14	0,13 – 0,18
propen	0,08	0,07 – 0,25
iso – butan	0,13	0,07 – 0,25
vodík	44,66	36,5 – 43
sirovodík mg/m ³	2320,1	1723,2 – 3399,4
spalné teplo MJ/m ³	12,11	11,88 – 12,65
výhřevnost MJ/m ³	10,84	10,59 – 11,38
měrná hmotnost kg/m ³	0,97	0,9404 – 1,0056

Při zplyňování dochází k velkému vývinu tepla, generátor je dvouplášťový. Vnitřní plášť je namáhán tepelně, vnější plášť je namáhán tlakem. Prostor mezi pláštěmi je zaplněn vodou a zavodňován zdola ze sběrače páry. Z horní části vodního prostoru generátoru vystupuje směs vody a páry do sběrače, kde dochází k oddělování parní fáze. Voda vstupuje zpět do vodního pláště generátoru. Cirkulace probíhá nenuceným způsobem. Vyrobená pára protéká přes potrubí přídavné páry pod rošt do plynového prostoru, tím je zajištěno propojení plynové strany s vodním prostorem.

Generátor je osazen otočným roštem z vysoce legované oceli, který zajišťuje vynášení popelové složky přes mezikus horního popelového uzávěru. Popel propadává do popelové výpusti. Výpust' je rozebíratelně spojena přes těleso horního popelového uzávěru s generátorem a s popelovým nástavcem, který ústí do popelového

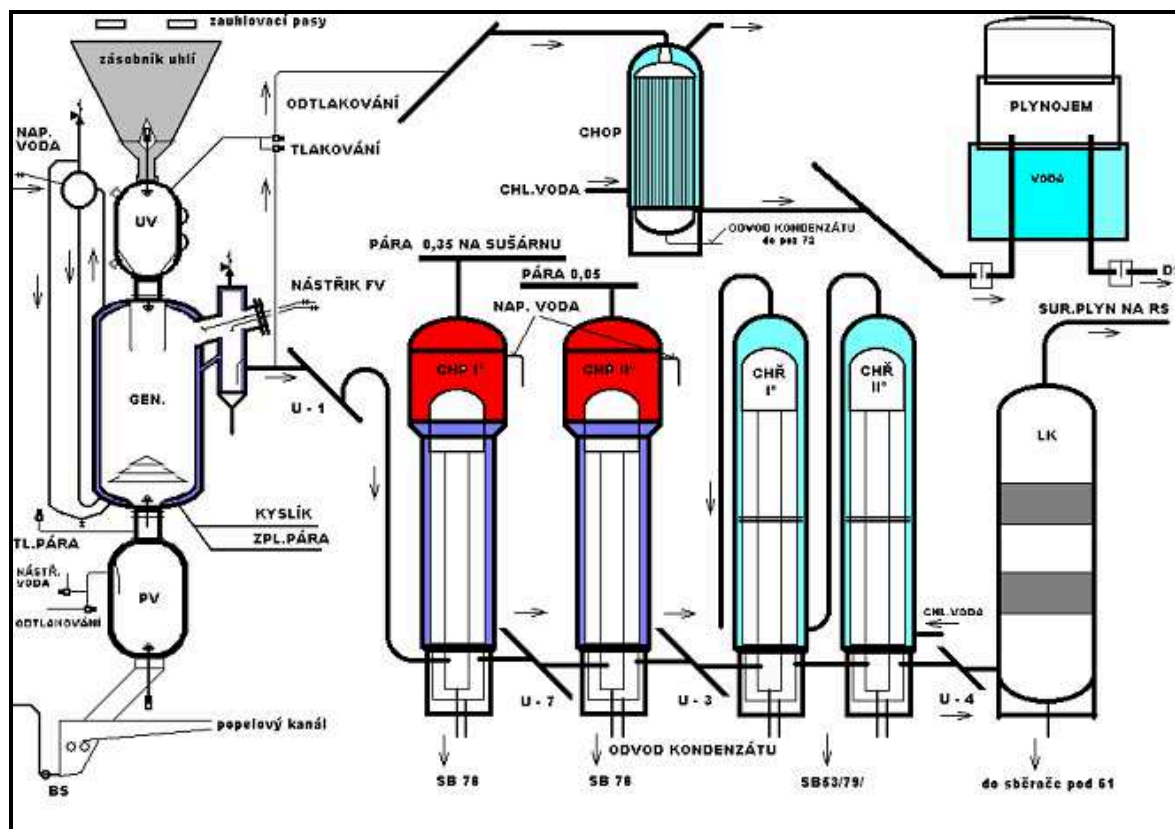
kanálu. Je opatřena spodním kuželem, přívodem tlakovací páry, tlakové vody a odtakovacím výstupním hrdlem. K příslušenství popelové výpusti patří popelový mezikus s horním kuželem, popelový nástavec, zařízení pro pohon roštu a odtakovací zařízení. Popelový mezikus tvoří spojovací článek mezi generátorem a popelovou výpustí. Je opatřen píchacím otvorem, teploměrem pro snímání teploty padajícího popela. Po naplnění a odtakování popelové výpusti se popel vypustí do popelového kanálu. [6] Celý odpopelňovací proces je automatizován.

Generátor je zařazen dle ČSN 070710 do 4. třídy zvláštních parních kotlů. Dle normy musí být vybaven následujícím zařízením:

- a) dva nezávislé stavoznaky (přímý, dálkově ovládaný)
- b) napájecí hlavou
- c) odkalovacím zařízením
- d) manometry v parním i plynovém prostoru
- e) pojistnými ventily na parní i plynové straně.



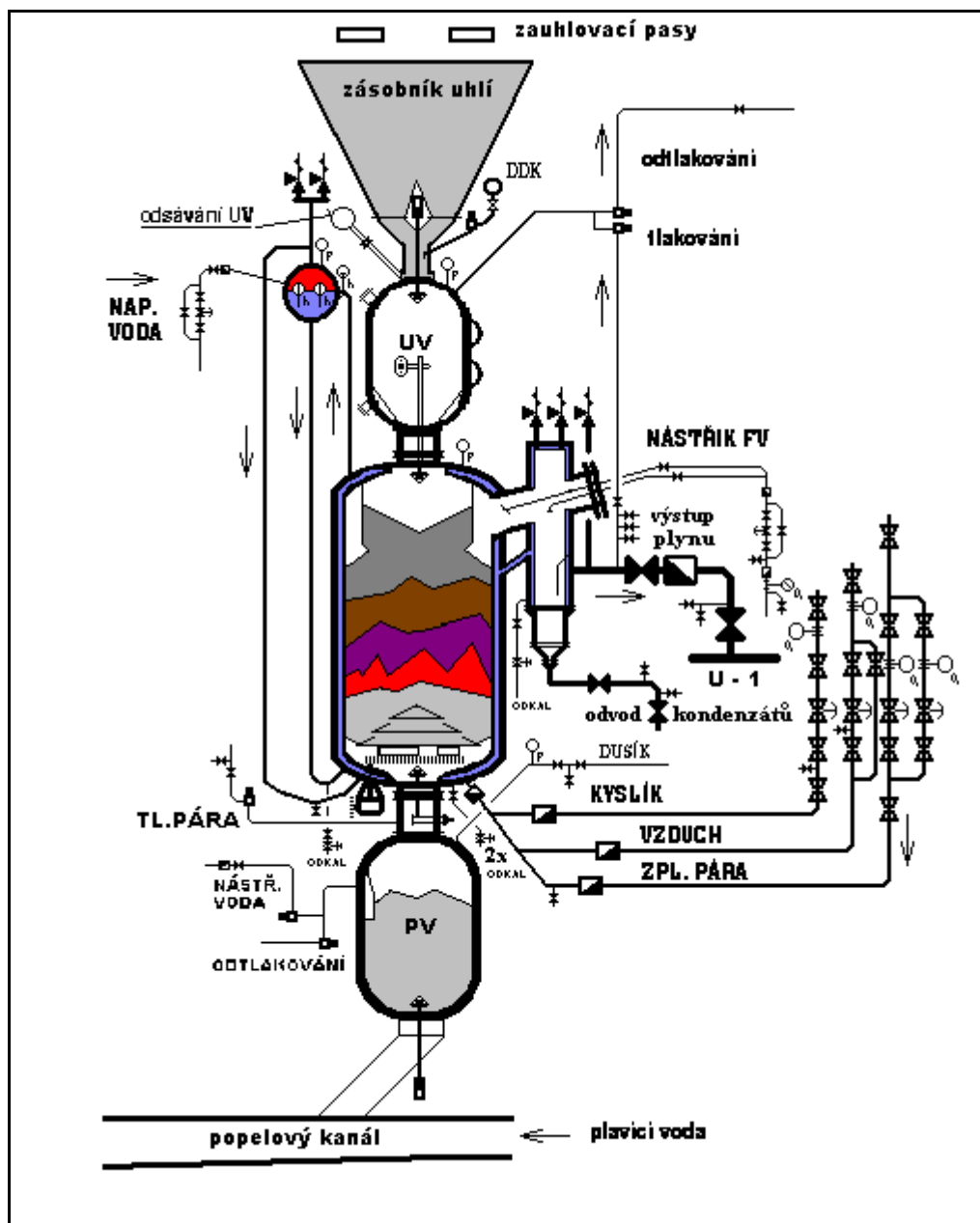
Obrázek č. 2 Spodní část generátoru – pohon roštu, horní popelový uzávěr (zdroj : SU, a.s)



Obrázek č. 3 Celkové schéma výroby plynu (zdroj : SU, a.s.)

Tabulka č. 2 Parametry tělesa generátoru [m, m³, °C, MPa]

	Generátor	Předchladič	Parní kotlík	Uhelná vpust'	Popelová výpusť
Výška	9,05	5,7		2,8	3,7
Průměr	3	1	1	2	2
Délka	2,8		1,935		
Objem			1,12	6	8,2
Obsah vodního prostoru	13				
Obsah plynového prostoru	42				
Max. přetlak vodního prostoru	3,1		3,1		
Max. přetlak	3			3,2	3,2
Pracovní teplota			130		
Efektivní objem				3,4	3,6
Max. teplota stěny			240	250	300



Obrázek č. 4 Celkové schéma generátoru (zdroj : SU, a.s.)

2 Zpracování a ukládání popelové složky ve zpracovatelské části SU, a.s.

2.1 Zpracování popelové složky

Popel produkovaný generátory je dávkován pomocí spodních kuželů popelové výpusti do popelového kanálu a hydraulicky plaven přes dvě bagrovací stanice, strojovny jsou umístěny pod úrovní terénu – 8,63 m.

Plavicí kanál před vstupem do BS se rozděluje na dva proudy ústící do bagrovacích jímek. Řízení vstupu hydrosměsi do jedné nebo druhé jímky se provádí pomocí elektricky ovládaných hradítek. Před vstupem do bagrovací jímky je v každé větvi kanálu umístěn rošt s oky 30 x 30 mm, kterým propadne do bagrovací jímky většina hydrosměsi (drobný popel s vodou). Kusy škváry jsou plaveny po roštu do zubového drtiče, kde jsou podrceny a propadávají do jímky. V obou bagrovacích jímkách jsou vsazeny ultrazvukové sondy, které měří hladinu hydrosměsi a regulací přes frekvenční měnič elektromotoru bagrovacího čerpadla je udáván výkon čerpadla. [7]

Bagrovací čerpadlo je osazeno uzavíracími armaturami DN 350, tělesem čerpadla, elektromotorem, řemenovým převodem, zpětnou klapkou na výtlačném potrubí. Provozuje se vždy pouze jedna jímka, druhá je záložní. Množství vody potřebné pro odpopelňování je možné regulovat pomocí pneumaticky ovládaných klapek vratné vody.

Zubový drtič DVZ 18 PSP

výkon	- 18 t/hod
příkon	- 11 kW

Bagrovací čerpadlo WARMAN 10/8 AH F – 460

výkon	- 650 m ³ /hod
výtlačná výška	- 0,60 MPa
otáčky	- max. 1.000 ot./min, min 300 ot./min, na výkon 860 ot./min
příkon	- 200 kW



Obrázek č. 5 Strojovna bagrovací stanice (zdroj : SU, a.s)

2. 2 Ukládání a redeponizace

Do roku 2004 se generátorová škvára hydraulicky plavila na odkaliště. Zde se těžila drapákovým rypadlem E 2,5. Překládala se na nákladní automobily a převážela na suchou skládku. Dle zákona č. 185/2000 Sb. O odpadech se v té době platil poplatek 200,- Kč/t za trvalé uložení.

Dnes se veškerá produkce generátorové škváry plaví potrubím do speciálně vytvořených kazet, kde se mísí s teplárenskou struskou a části popílků z elektrofiltrů. Dle potřeby je možné plavit oba tyto produkty do samostatných kazet. Kazeta se po naplnění odvodní a následně vytěží.



Obrázek č. 6 Odkaliště popela (zdroj : SU, a.s)

Pro redeponizaci popelovin jsou vybudovány ve zpracovatelské části 3 kazety pro postupné naplavování, odtěžování a následný odvoz k dalšímu zpracování. Redeponovaný materiál:

- Homogenizovaná směs odvodněných produktů DZ-SUAS-OPS,
- Škvára plavená DZ-SUAS-ŠPL,
- Škvára pro sypané konstrukce DZ-SUAS-ŠSK.

Tyto produkty jsou atestovány Výzkumným ústavem pro hnědé uhlí, a.s. – ZKUŠEBNA, který vydal k výše uvedeným produktům tyto nálezy:

- ATEST č A – 009 /12, Most, 2012 – 07 – 31,
- ATEST č A – 010 /12, Most, 2012 – 07 – 31.

Výše uvedené výrobky nejsou odpadem, jsou určeny pro směsné zakládání se skrývkovými zeminami do vybraných, geochemicky a hydrogeologicky ověřených etází výsypkových těles. Materiál se dále využívá při technické rekultivaci, případně pro jiné stavební účely – zásypy, podsypy cest komunikací či důlní dráhy. [9]

Tabulka č. 3 Objemy redeponizačních kazet

Kazeta č.	1	2	3
Plocha kazety	32 900 m ²	39 700 m ²	38 500 m ²
Teoretický úložný objem	82 200 m ²	99 200 m ²	96 200 m ²
Skutečný úložný objem	65 800 m ²	79 400 m ²	77 000 m ²

Tabulka č. 4 Fyzikálně – mechanické vlastnosti DZ-SUAS-ŠSK

Technická vlastnost	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
Vlhkost	% hmot.	≥ 20	21,8
Hmotnost sypná vlhká	kg.m ⁻³	≥ 700	813
Hmotnost sypná suchá	kg.m ⁻³	≥ 600	788
Zrnitost			
• pořadnice d ₃₀	mm	≥ 1,0 ∩ ≤ 4,0	1,0
• pořadnice d ₆₀	mm	≥ 4,0 ∩ ≤ 10,0	4,0
• podíl frakce písek jemný až písek hrubý frakce 0,063/2	% hmot.	≤ 50	39,6
• podíl frakce štěrk drobný až štěrk hrubý frakce 2/32	% hmot.	≥ 50	57,6
Objemová hmotnost vlhká po zhutnění Proctor standard (PS) 100 %	kg.m ⁻³	≥ 1050	1163
Propustnost po zhutnění PS 100 % koeficient filtrace k při $S_r = 100 \%$; $i = 30$	m.s ⁻¹	≥ 1,0.10 ⁻⁶	1,01.10 ⁻⁵
Smyková pevnost efekt. - úhel vnitřního tření vrcholový φ_{ef} v oboru normál. napětí $\sigma_n = 0,2 \div 1,2$ MPa	°	≥ 27	28,99
Poměr únosnosti CBR	%	≥ 10	22,6
Trvanlivost, 5 cyklů	% hmot.	≤ 20	15,6

Odplavitelné částice	% hmot.	≤ 5	3,4
----------------------	---------	-----	-----

Tabulka č. 5 Radiační ochrana DZ-SUAS-ŠSK

Parametr	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
Hmotnostní aktivita ²²⁶ Ra	Bq.kg ⁻¹	≤ 1000	240 ± 20
Index hmot. aktivity I	--	≤ 2	1,36 ± 0,08

Tabulka č. 6 Vyluhovatelnost chemických prvků a ekotoxicita DZ-SUAS-ŠSK

Parametr	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
pH	-	≥ 6	7,06 ± 0,10
As	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	0,071 ± 0,007
Ba	mg.l ⁻¹	≤ 1,0	0,063 ± 0,006
Be	mg.l ⁻¹	≤ 0,005	< 0,0002
Pb	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,005
Cd	mg.l ⁻¹	≤ 0,005	< 0,0004
Cr	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,05
Co	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,09
Cu	mg.l ⁻¹	≤ 1,0	< 0,04
Ni	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,04
Hg	mg.l ⁻¹	≤ 0,005	< 0,0005
Se	mg.l ⁻¹	≤ 0,05	< 0,002
Ag	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,01
V	mg.l ⁻¹	≤ 0,3	0,080 ± 0,009
Zn	mg.l ⁻¹	≤ 3,0	< 0,04
Sn	mg.l ⁻¹	≤ 1,0	< 0,01
Ekotoxicita scr.	ml.l ⁻¹	negativní	negativní

Tabulka č. 7 Fyzikálně – mechanické vlastnosti DZ-SUAS-OPS

Technická vlastnost	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
Vlhkost	% hmot.	≥ 20	28,8
Hmotnost sypaná vlhká	kg.m ⁻³	≥ 700	855
Hmotnost sypaná suchá	kg.m ⁻³	≥ 600	810
Zdánlivá hustota p.č.	kg.m ⁻³	≥ 2300	2750
Zrnitost			
• pořadnice d ₃₀	mm	≥ 0,10 ∩ ≤ 0,40	0,31

• pořadnice d_{60}	mm	$\geq 1,0 \cap \leq 4,0$	1,8
• podíl frakce písek jemný až písek hrubý frakce 0,063/2	% hmot.	≤ 60	57,4
• podíl frakce štěrk drobný až štěrk hrubý frakce 2/32	% hmot.	≥ 35	38,8
Objemová hmotnost vlhká po zhutnění Proctor standard (PS) 100 %	kg.m ⁻³	≥ 1050	1219
Propustnost po zhutnění PS 100 % koeficient filtrace k při $S_r \square 100$ %; $i = 30$	m.s ⁻¹	$\geq 1,0 \cdot 10^{-7}$	$6,02 \cdot 10^{-6}$
Smyková pevnost efekt. - úhel vnitřního tření vrcholový φ_{ef} v oboru normál. napětí $\sigma_n = 0,2 \div 1,2$ MPa	°	≥ 27	31,00

Tabulka č. 8 Radiační ochrana DZ-SUAS-OPS

Parametr	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
Hmotnostní aktivita ²²⁶ Ra	Bq.kg ⁻¹	≤ 1000	220 ± 20
Index hmot. aktivity I	--	≤ 2	$1,21 \pm 0,08$

Tabulka č. 9 Vyluhovatelnost chemických prvků a ekotoxicita DZ-SUAS-OPS

Parametr	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
pH	-	≥ 6	$7,26 \pm 0,10$
As	mg.l ⁻¹	$\leq 0,1$	$0,067 \pm 0,007$
Ba	mg.l ⁻¹	$\leq 1,0$	$0,039 \pm 0,004$
Be	mg.l ⁻¹	$\leq 0,005$	$< 0,0002$
Pb	mg.l ⁻¹	$\leq 0,1$	$< 0,005$
Cd	mg.l ⁻¹	$\leq 0,005$	$< 0,0004$
Cr	mg.l ⁻¹	$\leq 0,1$	$< 0,05$
Co	mg.l ⁻¹	$\leq 0,1$	$< 0,09$
Cu	mg.l ⁻¹	$\leq 1,0$	$< 0,04$
Ni	mg.l ⁻¹	$\leq 0,1$	$< 0,04$
Hg	mg.l ⁻¹	$\leq 0,005$	$< 0,0005$
Se	mg.l ⁻¹	$\leq 0,05$	$< 0,002$
Ag	mg.l ⁻¹	$\leq 0,1$	$< 0,01$
V	mg.l ⁻¹	$\leq 0,3$	$0,063 \pm 0,006$
Zn	mg.l ⁻¹	$\leq 3,0$	$< 0,04$
Sn	mg.l ⁻¹	$\leq 1,0$	$< 0,01$
Ekotoxicita scr.	ml.l ⁻¹	negativní	negativní

Tabulka č. 10 Fyzikálně – mechanické vlastnosti DZ-SUAS-ŠPL

Technická vlastnost	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
Vlhkost	% hmot.	≥ 20	21,8
Hmotnost sypná vlhká	kg.m^{-3}	≥ 700	813
Hmotnost sypná suchá	kg.m^{-3}	≥ 600	788
Zdánlivá hustota p.č.	kg.m^{-3}	≥ 2300	2780
Zrnitost			
pořadnice d_{30}	mm	$\geq 1,0 \cap \leq 4,0$	1,0
pořadnice d_{60}	mm	$\geq 4,0 \cap \leq 10,0$	4,0
podíl frakce písek jemný až písek hrubý frakce 0,063/2	% hmot.	≤ 50	39,6
podíl frakce štěrk drobný až štěrk hrubý frakce 2/32	% hmot.	≥ 50	57,6
Objemová hmotnost vlhká po zhutnění Proctor standard (PS) 100 %	kg.m^{-3}	≥ 1050	1163
Propustnost po zhutnění PS 100 % koeficient filtrace k při $S_r \square 100 \%$; $i = 30$	m.s^{-1}	$\geq 1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,01 \cdot 10^{-5}$
Smyková pevnost efekt. - úhel vnitřního tření vrcholový φ_{ef} v oboru normál. napětí $\sigma_n = 0,2 \div 1,2 \text{ MPa}$	°	$\geq 27,0$	28,99

Tabulka č. 11 Radiační ochrana DZ-SUAS-ŠPL

Parametr	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
Hmotnostní aktivita ^{226}Ra	Bq.kg^{-1}	≤ 1000	240 ± 20
Index hmot. aktivity I	--	≤ 2	$1,36 \pm 0,08$

Tabulka č. 12 Vyluhovatelnost chemických prvků a ekotoxicita DZ-SUAS-ŠPL

Parametr	Jednotka	Směrná úroveň	Průkazní zkouška
pH	-	≥ 6	$7,06 \pm 0,10$
As	mg.l^{-1}	$\leq 0,1$	$0,071 \pm 0,007$
Ba	mg.l^{-1}	$\leq 1,0$	$0,063 \pm 0,006$
Be	mg.l^{-1}	$\leq 0,005$	$< 0,0002$
Pb	mg.l^{-1}	$\leq 0,1$	$< 0,005$
Cd	mg.l^{-1}	$\leq 0,005$	$< 0,0004$

Cr	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,05
Co	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,09
Cu	mg.l ⁻¹	≤ 1,0	< 0,04
Ni	mg.l ⁻¹	≤ 0,1	< 0,04
Hg	mg.l ⁻¹	≤ 0,005	< 0,0005
Se	mg.l ⁻¹	≤ 0,05	< 0,002
Ag	mg.l-l	≤ 0,1	< 0,01
V	mg.l ⁻¹	≤ 0,3	0,080 ± 0,009
Zn	mg.l-l	≤ 3,0	< 0,04
Sn	mg.l ⁻¹	≤ 1,0	< 0,01
Ekotoxicita scr.	ml.l ⁻¹	negativní	negativní

3 Legislativa a vedlejší energetické produkty

3.1 Certifikace stavebních výrobků z VEP

Vedlejší energetické produkty (VEP) jsou tuhé materiály, které vznikají v důsledku spalování pevných paliv a při procesu odsiřování spalin převážně při výrobě elektrické energie a tepla. Jejich produkce je nevyhnutelná, protože vznikají v důsledku plnění požadavků stanovených pro vypuštění emisí do ovzduší (tedy v důsledku plnění opatření na ochranu ovzduší – životního prostředí). Využití VEP závisí na jejich chemických, mineralogických a fyzikálních vlastnostech. Na tyto vlastnosti má vliv typ elektrárny, původ uhlí. VEP jsou využívány zejména ve stavebním průmyslu, stavebním inženýrství a jako stavební a výplňové materiály v rámci protizáparové prevence při hlubinné těžbě, při sanačních a rekultivačních pracích a stavebních úpravách povrchu terénu souvisejících s obnovou povrchových dolů, kamenolomů a šachet, kde nahrazují deficitní primární suroviny. [8]

Základním předpisem pro uvádění stavebních výrobků na trh v rámci ČR je v současné době zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů s navazujícími prováděcími právními předpisy – nařízením vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE, ve znění pozdějších předpisů. Jedním ze

způsobů nakládání s VEP je cesta odpadů. V případě odpadu se na producenta VEP vztahují ustanovení zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, včetně prováděcích vyhlášek. Na odpady se ovšem nevztahuje nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, nazývané REACH. Pokud jsou VEP využívány pro výrobu stavebních výrobků, které spadají pod působnost zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, vztahuje se na ně také REACH. K zákonu č. 22/1997 Sb. jsou pro stavební výrobky vydány prováděcí nařízení vlády č. 163/2002 Sb. a č. 190/2002 Sb. [1]

3. 2 Související právní předpisy a normy

Zákon	Název
100/2001 Sb.	O posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů
185/2001 Sb.	O odpadech, ve znění pozdějších předpisů
22/1997 Sb.	O technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů v platném znění
183/2006 Sb.	O územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů
13/1997 Sb.	O pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů
289/1995 Sb.	O lesích (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů
334/1992 Sb.	O ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů
254/2001 Sb.	Vodní zákon, ve znění pozdějších předpisů
114/1992 Sb.	O ochraně přírody a krajiny
244/1992 Sb.	O posuzování vlivů rozvojových koncepcí a programů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů
17/1992 Sb.	O životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů

258/2000 Sb.	O ochraně veřejného draví a o změně některých souvisejících zákonů
93/2004 Sb.	O posuzování vlivů na životní prostředí – změna zákona
102/2001 Sb.	O obecné bezpečnosti výrobků
86/2002 Sb.	O ochraně ovzduší
62/1988 Sb.	O geologických pracích

Vyhláška

Název

13/2009 Sb.	O stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší
104/1997 Sb.	O pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů
499/2005 Sb.	O radiační ochraně
294/2005 Sb.	O podmínkách ukládání odpadů a jejich využívání na povrchu terénu
383/2001 Sb.	O hodnocení vyluhovatelnosti odpadů
376/2001 Sb.	O hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

ČSN

Název

72 2072	Popílek pro stavební účely:
72 1206	Sádrovec a anhydrit jako přísada do cementu
73 1355	Stanovení trvanlivosti pórobetonu
73 1358	Stanovení náchylnosti pórobetonu k tvorbě primárních výkvětů
73 6160	Zkoušení asfaltových směsí
07 7001	Popelové hospodářství
07 7002	Likvidace tuhých zbytků po spalování uhlí
44 1377	Tuhá paliva – stanovení obsahu vody
72 0100	Základní postup rozborů silikátů
72 1006	Kontrola zhutnění zemin a sypanin
72 1010	Stanovení objemové hmotnosti zemin

73 6133	Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
73 6190	Statická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev vozovek
73 6192	Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží

ČSN EN

Název

450	Popílek do betonu
451	Metoda zkoušení popílku
459	Stavební vápno
12390	Zkoušení ztvrdlého betonu
13286	Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy
14227	Směsi stmelené hydraulickými pojivy
12457	Charakterizace odpadů

ČSN ISO

Název

10523	Jakost vod - stanovení pH
1171	Tuhá paliva - stanovení popela

ČSN CEN ISO

Název

17892	Geotechnický průzkum a zkoušení
-------	---------------------------------

Nařízení vlády

Název

163/2002 Sb.	Technické požadavky na vybrané stavební výrobky
145/2008 Sb.	Seznam znečišťujících látek a prahových hodnot a údaje požadované pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování životního prostředí
61/2003 Sb.	O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení

k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech

4 Možnost využití popílku ve stavebnictví

Využitím popílku ve stavebnictví se řada odborných specializovaných pracovišť zabývá již několik desítek let. Převaha zájmu o hromadné využití těchto popílků se orientovala do inženýrského stavitelství, kde je možnost využívání popílků jako druhotných surovin největší. Popílký nacházejí široké uplatnění také ve výrobnách stavebních hmot. Především ve výrobě maltovin, betonu, umělého kameniva, cihlářského a keramického zboží a také při výrobě injektážních malt a litých podlahových vrstev. Velké ekonomické výhody přináší využití popílku přímo na stavbách, například při budování silnic, dálnic, letišť, železnic, přehrad. Za perspektivní postupy aplikace elektrárenských popílků se dnes považuje výroba pórobetonu, náhrada cementu v betonových směsích a především všechny druhy zemních prací a stabilizace zemin. [1]

4.1 Základní pojmy a definice [13]

Stavební výrobky – dle těchto technických podmínek se stavebními výrobky rozumí energetické produkty testované a zaregistrované podle nařízení REACH, následně řízeně upravené v míchacím centru do formy stavebních směsí.

Energetické produkty – tuhé zbytky vznikající při spalování pevných paliv a produkty vznikající při procesu odsíření spalín. Energetické produkty zaregistrované podle nařízení REACH jsou chemické látky, které dle těchto TP vstupními surovinami pro výrobu stavebních směsí (výrobků).

Popel – tuhé zbytky vznikající při vysokoteplotním spalování pevných paliv. Popel je směsí strusky (škváry) a popílku.

Popílek – jemná složka popela unášená spalinami z ohniště a zachycovaná v elektrostatických nebo tkaninových odlučovačích.

Struska – hrubá složka popela odloučená v ohništi granulačních kotlů.

Škvára – hrubá složka popela odloučená z topenišť roštových kotlů.

Fluidní popel – tuhé zbytky vznikající při fluidním spalování pevných paliv s příměsí vápence při teplotách do 850°C. Fluidní popel na rozdíl od popela z klasického spalování uhlí v granulačních nebo roštových kotlích obsahuje navíc produkt odsíření spalin (bezvodý síran vápenatý - CaSO_4), volný oxid vápenatý (CaO) a zbytky nezreagovaného vápence. Fluidní popel je směsí ložového popela a úletového popílku.

Úletový popílek – jemná složka fluidního popela unášená spalinami z ohnišť fluidních kotlů následně zachycovaná v elektrostatických nebo tkaninových odlučovačích.

Ložový popel – hrubá složka fluidního popela odloučená z fluidního lože.

Energosádrovec – produkt odsíření metodou mokré vápencové vypírky. Jedná se o dihydrát síranu vápenatého ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) o čistotě obvykle 90 - 95 %.

SDA produkt - nebo také REA produkt – produkt polosuché metody odsíření spalin metodou rozprašovací absorpce. Jedná se o směs především siřičitanu vápenatého, síranu vápenatého a nezreagovaného hydroxidu vápenatého.

Stabilizát – Stavební výrobek vyráběný na centrálním mísícím zařízení ze směsi popílku a pojiva, zvlhčený vodou na optimální vlhkost. Stabilizát v průběhu zrání tuhne, v důsledku čehož dochází ke zvýšení pevnosti a snížení propustnosti stavebního výrobku. Do stabilizátu může být dále přidávána struska a energosádrovec. U stabilizátu z fluidního

popela se vápno nepřidává, vzhledem k přítomnosti pojiv (volného oxidu vápenatého a anhydritu) ve fluidním popelu se vyrábí tento typ stabilizátu pouze zvlhčením fluidního popela vodou.

Tvarování terénu – úprava terénu pro budoucí rekultivaci prováděná dle projektové dokumentace stavby s ohledem na způsob budoucího využití území.

Pojivo - vazná látka spojující částice jiné tuhé hmoty v celek (např. vápno, cement a slínky). Termínem pojivo se označují látky, které lze upravit do tekuté nebo kašovitě formy a které pak z této formy relativně snadno přecházejí do formy pevné. Proces zpevňování lze rozdělit na dvě na sebe navazující stádia – tuhnutí a tvrdnutí. Ve fázi tuhnutí ztrácí tekutá nebo kašovitá hmota svoji původní zpracovatelnost a postupně nabývá charakteru pevné látky. Ve fázi tvrdnutí pak pevná látka postupně nabývá vyšší pevnosti, která je potřebná při praktickém využití pojiva v konkrétní stavební aplikaci.

Sanace - přijetí opatření k nápravě škod způsobených lidskou činností na krajině nebo majetku.

Antropogenně ovlivněné území – území, na kterém jsou obsahy sledovaných kontaminantů v důsledku dřívější nebo aktuální lidské činnosti oproti přírodnímu prostředí zvýšené

4. 2 Popílek do cementu a betonu

Možnost využití popílku jako přísady do betonu se laboratorně ověřovala již v 70. letech minulého století. Zkouškami se došlo k závěru, že při optimálním dávkování lze zlepšit vlastnosti betonové směsi. Pro svou pucolánovou vlastnost je létavý popílek vhodnou přísadou pro výrobu cementu. Použije-li se přísada popílku do cementu, ušetří se 20% portlandského slínku a zlepší některé vlastnosti betonu, jako je pevnost v tlaku a v tahu za ohybu.

Použití popílku do betonu je dnes natolik prozkoumáno, že lze formulovat některé obecné závěry:

- popílkem lze nahradit až 20% cementu v betonu,
- při použití musí popílek vyhovovat některým chemickým a fyzikálním vlastnostem,
- jemnost a obsah spalitelných látek,
- přídavek popílku v betonu zvyšuje pevnost po 90 dnech,
- přídavek popílku v betonu snižuje pevnost po 7 resp. 28 dnech,
- beton s popílkem lépe odolává korozi v agresivním prostředí,
- popílek v betonu zlepšuje zpracovatelnost, nepropustnost atd. [4]

Do betonu se dnes používá popílek, který vyhovuje normě a je deklarován výrobcem nebo dodavatelem. Dle normy ČSN EN 450 je popílek definován:

- Popílek je jemný prášek převážně z kulovitých sklovitých částic, které vznikají při spalování práškového uhlí samotného, nebo i se spoluspalovaným materiálem. Má pucolánové vlastnosti a sestává převážně z SiO_2 a Al_2O_3 , přičemž obsah aktivního SiO_2 , nejméně 25 % hmotnostních,
- Popílek se získává elektrostatickým nebo mechanickým odlučováním z plynů topenišť otápěných práškovým uhlím samotným, nebo i se spoluspalovaným materiálem,
- Popílek se může před použitím upravovat například tříděním, vývěrem, proséváním, sušením, smícháváním, mletím nebo snižováním uhlíku nebo kombinací těchto procesů ve vhodném výrobním procesu.

Tabulka č. 13 Chemické a fyzikální vlastnosti popílku dle ČSN EN 450-1

Vlastnost	Požadavek	Mezní hodnota vzorku	Zkušební metoda
ztráta žíháním (1 h)	kat. A $\leq 5 \%$ kat. B až 7 % kat. C až 9 %	+ 2 % + 2 % + 2 %	EN 196-2
obsah chloridů (CL)	$\leq 0,1 \%$	0 %	EN 196-2
obsah SO ₃	$\leq 3 \%$	+ 0,5 %	EN 196-2
volný CaO	$\leq 2,5 \%$	0,1 %	EN 451-1
aktivní CaO	$\leq 10 \%$	1 %	EN 197-1
aktivní SiO ₂	$\geq 25 \%$	- 3 %	EN 197-1
$\Sigma \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70 \%$	- 5 %	EN 196-2
obsah alkálií – Na ₂ O _{ekv.}	$\leq 5 \%$	+ 0,5 %	EN 196-2
obsah MgO	$\leq 4 \%$	+ 0,5 %	EN 196-2
P ₂ O ₅	$\leq 4 \%$	110 mg.kg ⁻¹	EN 450-1
zbytek na síť 0,045 mm	kat. N $\leq 40 \%$ kat. S $\leq 12 \%$	$\pm 10 \%$ + 1 %	EN 451-2 za mokra
index účinnosti (porovnání pev. v tlaku)	za 28 dní 75 % za 90 dní 85 %	- 5 %	EN 196-1
objemová stálost	$\leq 10 \text{ mm}$	-	EN 196-3
variabilita měrné hmotnosti	max. $\pm 200 \text{ kg.m}^{-3}$ od deklarované	+ 25 kg.m ⁻³	EN 196-6
počátek tuhnutí	na 2x delší než směs jen z cementu	+ 20 minut	EN 196-3
požadavek na množství vody	95 % (jen kategorie S)	+ 2 %	EN 450-1

4.3 Popílek do pórobetonu

Pórobeton je moderní přírodní materiál, který v sobě spojuje stavebně - fyzikální vlastnosti, které ostatní tradiční stavební materiály získávají jen vhodným spojením několika druhů. Jeho univerzálnost spočívá ve vyvážené kombinaci nízké objemové hmotnosti hmoty s dobrou konstrukční pevností. Pórobetonová hmota na vápeno-křemičité bázi je svojí strukturou, kde póry představují cca 50% objemu materiálu, výborným tepelně-izolačním materiálem současnosti. Konstrukce z pórobetonu splňují ve většině případů tepelně-technické požadavky současných norem. [17] Výrobní a dopravní náklady jsou zanedbatelné v porovnání s tradičně vyráběnými stavebními materiály. Z tohoto betonu, který má objemovou hmotnost do 900 kg.m^{-3} se vyrábějí tvárnice, střešní panely, obvodové panely, profily, překlady pro průmyslovou i bytovou výstavbu.

Objemová hmotnost vyjadřuje vztah hmotnosti pórobetonu k objemu, který zabírá spolu s póry. Je to důležitá základní vlastnost, na které v rozhodující míře závisí jeho ostatní parametry. Zvýšení objemové hmotnosti doprovází růst pevnosti. Naopak, čím je objemová hmotnost pórobetonu menší, tím větší je jeho schopnost tepelné izolace. Tento materiál dosahuje stejné hodnoty součinitele tepelné vodivosti při objemových hmotnostech vyšších o $40 - 50 \text{ kg.m}^{-3}$ než bílé pórobetony na bázi písku. Je to dáno tím, že jemnou pórovitou strukturu šedého pórobetonu tvoří minerální struktura, která má nižší tepelnou vodivost než krystaly křemene a živce v bílých pórobetonech. [16]

Pro výrobu autoklávovaného pórobetonu se popílek používá jako plnivo. V případě, že jsou na výrobu pórobetonu použity popílky s vyšším obsahem CaO, vzniká i úspora pojiva. Z hlediska omezení mletí pojiva se snižuje energetická náročnost jeho výroby. [15]

Tabulka č. 14 Parametry vhodného popílku pro pórobeton [1]

Chemické složení [%]							Zbytek na síti [%]		Sypná hmotnost [kg.m^{-3}]		Měrný povrch [$\text{m}^2.\text{kg}^{-1}$]
zž	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	200 mm	63 mm	sypaná	setřesná	
max	min	max	max	max	max	max	max	min max	min max	min max	min max
7	40	10	18	3,5	2	1,5	5	15 - 40	500 - 1000	700 - 1200	200 - 500



Obrázek č. 7 Stavební materiál z pórobetonu (zdroj : <http://www.tvstav.cz>)

4. 4 Popílkové stabilizáty

Stabilizát se vyrábí technologickou úpravou vstupních surovin, kterými jsou vedlejší produkty spalování uhlí a odsíření spalin (popílek, struska, fluidní popel, případně energosádrovec nebo produkt polosuché metody odsíření), spočívající v dokonalém promísení s přesně dávkovaným množstvím záměsové vody. Pro získání požadovaných vlastností stabilizátu (popel s 20 % vody + 2 – 5 % hydroxidu vápenatého + 5 – 10 % síranu vápenatého) je v počáteční fázi výroby rozhodující promísení vstupních surovin s vápnem a následné zvlhčení záměsovou vodou, při kterém dochází k exotermní reakci a během několika minut k nastartování hydratačních procesů. Ve stavební směsi probíhají v alkalickém prostředí chemické pucolánové reakce obdobné procesům při tuhnutí cementů a za aktivní účasti volného CaO vzniká materiál s vazebnými schopnostmi.

Po zatuhnutí se stabilizát zásadně liší svými technickými vlastnostmi od původních neupravených vstupních surovin, jeho vlastnosti jsou obdobné vlastnostem chudého betonu. Speciálně vyráběné typy stabilizátů s vyšším obsahem vápna lze charakterizovat

jako materiál nepropustný (koeficient propustnosti k v rozmezí $n.10^{-8}$ až $n.10^{-9}$ m/s), s vysokou pevností v prostém tlaku (5 – 10 MPa), odolný proti mrazu a vodě. [19]

Stabilizáty mají využití při stavbách protipovodňových hrází, stavbě těles pozemních komunikací. Dále při stavbách protihlukových valů, hrází odkališť a skládek, přechodových oblastí mostů. Lze tento materiál využít při sanacích podzemních dutin, které vznikají po demolicích staveb a pro sanaci starých důlních děl.



Obrázek č. 8 Sanace hořícího odvalu stabilizátem (zdroj : <http://www.hzbs-praha.cz>)

4.5 Popílek pro výrobu umělého kameniva

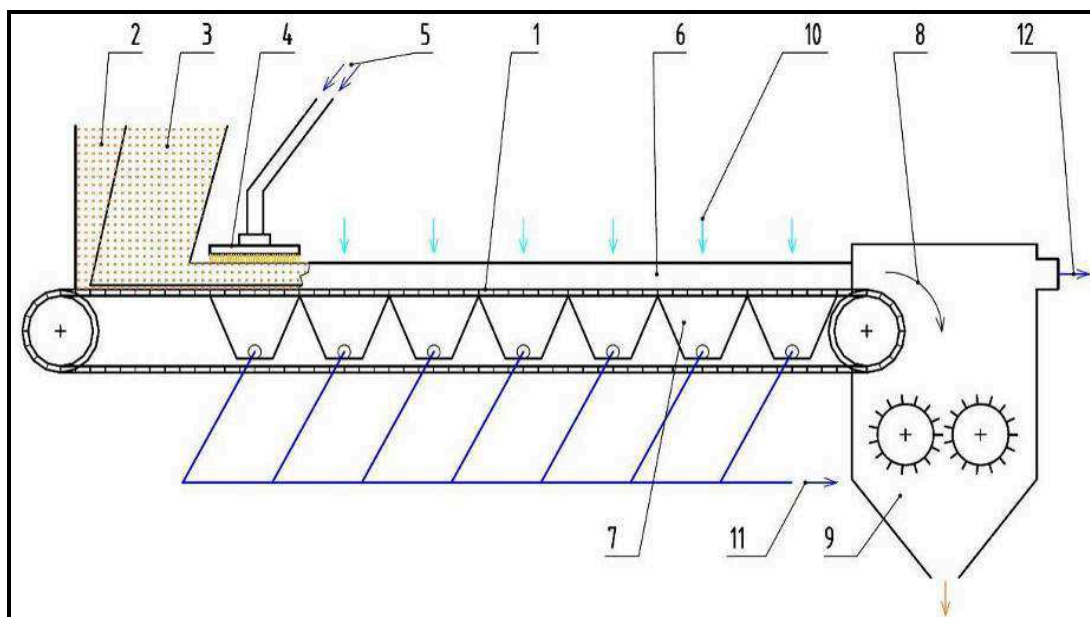
Umělým kamenivem můžeme v závislosti na technologii výroby částečně nebo úplně nahradit kamenivo přírodní. Výroba umělého kameniva ze sbalkových popílků je jedna z mála technologií výroby stavebních materiálů čistě na popílkové bázi. Známé jsou především dva způsoby, které se liší ve způsobu vytvrzení a tak i potřebě tepelného procesu. Jeden je založen na pojivových schopnostech popílku a druhý na jeho schopnosti vytvářet pevnou strukturu za vysokých teplot. Vždy je základem popílek v množství 90 – 100 %, který často vyžaduje přímísení pojiva nebo paliva s ohledem na zvolenou technologii. [1]

Peletizace - k vlastní přípravě sbalků, resp. granálií nebo pelet jsou používány nejrůznější granulační zařízení. Může se jednat o granulační bubny, ve světovém měřítku jsou potom nejčastější sbalkovací talíře, z materiálů těstovité konzistence mohou být vhodná tělíška připravena též na pásmovém lisu s vhodně děrovaným ústím nebo též protlačováním kolovými mlýny, přičemž se taková tělíška obvykle ještě v bubnu zakulacují.

Vypalování - nejběžnější a zároveň nejčastější způsoby vypalování umělého kameniva je spékání na aglomeračních roštích. Aglomerační rošty jsou pohyblivé pásy o šířce kolem 1 m, délky zpravidla v okolí 20 m, na kterých surovinové a předsušené sbalky prohořívají po zapálení seshora směrem dolů. Dochází tak k jejich spékání a to díky palivu (spalitelným látkám), které jsou v nich obsaženy. Vzduch, který je při tomto procesu zapotřebí, se v oblasti slinování musí neustále prosávat přes umístěnou vrstvu a to pomocí exhaustorů. [22]

Tabulka č. 15 Základní vlastnosti umělého kameniva [4]

Objemová hmotnost sypaného kameniva	min 556 kg.m⁻³	max 829 kg.m⁻³
Objemová hmotnost setřeseného kameniva	min 625 kg.m⁻³	max 936 kg.m⁻³
Objemová hmotnost zrn	min 1010 kg.m⁻³	max 1450 kg.m⁻³
Nasákavost	min 14,4 %	max 39,2 %
Pevnost ve válci průměru 150 mm při stlačení o 2 cm	min 15.10⁵ Pa	max 52.10⁵ Pa



Obrázek č. 9 Schéma aglomeračního roštu [22]

- | | |
|---------------------------------------|------------------------|
| 1 – pohyblivý článkový rošt | 7 – odtahové komory |
| 2 – násypka roštoviny | 8 – vyklápění spečenců |
| 3 – násypka syrové vsázky | 9 – drtič spečenců |
| 4 – plynová zapalovací hlava | 10 – nasávání vzduchu |
| 5 – přívod plynu a přidavného vzduchu | 11 – odtah spalin |
| 6 – pevné bočnice | 12 – odprášení drtiče |

Umělé kamenivo se používá při výrobě lehkých betonů (hutných i mezerovitých), různých druhů malt, injektážních směsí. Dále při výrobě příčekovek a jiných stavebních prvků.



Obrázek č. 10 Umělé kamenivo frakce 8 – 16 mm [21]

4. 6 Popílek pro výrobu cihel

V cihlářské výrobě se popílký mohou použít tehdy, má-li tradiční cihlářská surovina dostatečně vázné a plastické vlastnosti. Přídavný popílek zde působí jako lehčivo nebo ostřivo. Je známo několik způsobů výroby, v nichž se kombinuje popílek s tradiční cihlářskou surovinou v různých poměrech. Všechny cihlářské hlíny a popílký se však pro tuto výrobu nehodí. Před zahájením výroby se oba materiály laboratorně i provozně vyzkoušejí. Cihly s popílkem vyhovují pro většinu použití ve stavebnictví a jsou vždy lehčí než tradiční cihly. [4]

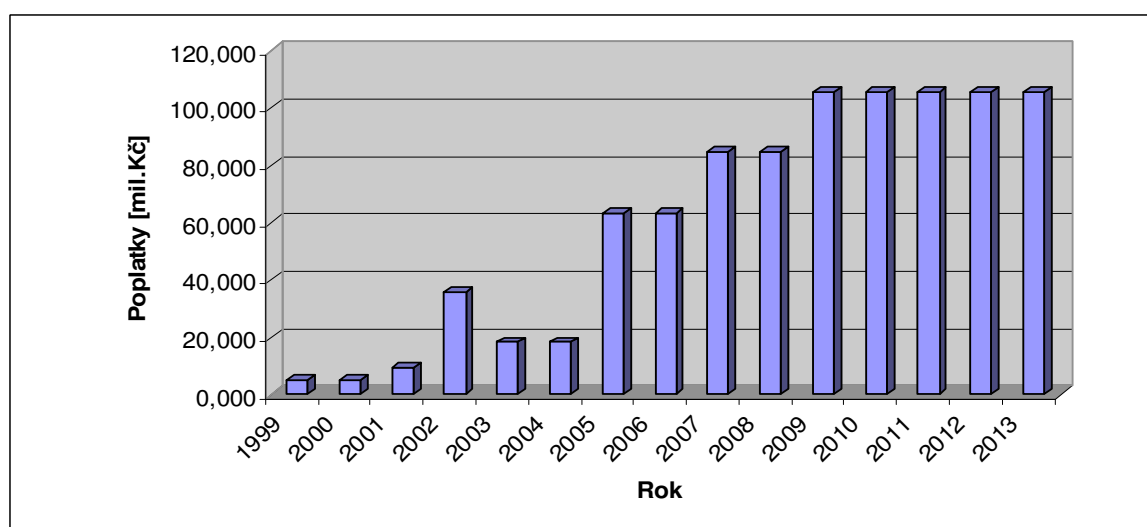
5 Ekonomický přínos a zhodnocení

V roce 2005 dokončila Sokolovská uhelná, a.s. investiční záměr, kterým vyřešila problematiku hydraulického ukládání VEP ze zplyňovacího procesu tlakové plynárny (generátorová škvára) a spalovacího procesu teplárny (popílková směs) do odkaliště. Vhodným certifikovaným technologickým postupem, tzv. redeponizací zajistila jejich další využití bez nutnosti zpoplatnění ve smyslu zákona o odpadech.

Redeponizace – střídavé plavení a těžení pevných odpadních látek do speciálně vytvořených kazet. Provoz probíhá tak, že se kazeta postupně naplní, gravitačně odvodní a vytěží. Vytěžený materiál je certifikován jako konstrukční materiál do výsypek nebo materiál určený na technickou rekultivaci, případně materiál vhodný na vybrané stavební účely (zásypy, podsypy cest komunikací, důlní dráhy apod.). [9]

5. 1. Poplatky za ukládání odpadů

Ukládání odpadů se zpoplatňuje sazbou dle zákona č. 185/2001 O odpadech. Dnes se odvádí 500 Kč za každou uloženou tunu. Při trvalém ukládání popelů na odkališti by zaplatila společnost na poplatcích od roku 2005 do roku 2013 cca 900 mil. Kč.



Graf č. 1 Poplatky za ukládání odpadů na odkališti SU, a.s.

Tabulka č. 16 Celkové náklady za ukládání popela do roku 2030

Rok	Základní sazba Kč/t	Celkové množství popelů v t	Poplatky mil. Kč/rok
1999	30	172100	5,163
2000	30	173500	5,205
2001	50	187800	9,390
2002	200	180000	36,000
2003	200	91500	18,300
2004	200	91500	18,300
2005	300	211500	63,450
2006	300	211500	63,450
2007	400	211500	84,600
2008	400	211500	84,600
2009	500	211500	105,750
2010	500	211500	105,750
2011	500	211500	105,750
2012	500	211500	105,750
2013	500	211500	105,750
Celkem		2799900	917,208
Celkem 2014 - 12/2030		3384000	1692,000
Celkem		6,1839 mil. t	2609,208 mil. Kč

Výpočet celkových nákladů za trvalé uložení popelovin vychází z předpokladu, že se sazba za uloženou tunu odpadu nebude po roce 2014 měnit. Dále nebyl započten poplatek ve výši 35 Kč/t, který se odvádí do rezervy na následnou sanaci a rekultivaci odkaliště.

Celkové náklady za uložení popelovin

Úložný objem popelovin	4,656 mil. m ³	6,183 mil. t
Provozní náklady celkem		2609,208 mil. Kč

Jednotkové náklady **422 Kč/t**

5.2 Provozní náklady – redeponizace VEP

Do provozních nákladů byly zahrnuty investiční náklady na výstavbu redeponizačních kazet. Dále veškeré mzdové náklady pracovníků při manipulaci s VEP – těžba odvodněných kazet, přeprava redeponovaného materiálu kolejovou dopravou, směsné zakládání do výsypek, doprovodná mechanizace jako např. nakladače, automobilová doprava, obsluha rýpadel atd.

Výstavba kazet byla rozčleněna do třech etap. Značnou část prací prováděla společnost SU, a.s. vlastními mechanizačními prostředky (VMP). Z investičních prostředků (INV) bylo hrazeno nasazení speciální techniky a odborné práce.

Popis stavby

1. etapa

PS 001 – Rekonstrukce bagrovací stanice

DSP 001.1 strojní část

Rekonstrukce stávajících bagrovacích čerpadel – vyměněna oběžná kola a nahrazeny elektromotory pro dosažení vyššího výkonu u šesti bagrovacích čerpadel, které dopravují hydrosměs na odkaliště.

IN: 1,700 mil Kč

DSP 001.2 elektrosoučást

Přívodní napájecí kabely pro nová bagrovací čerpadla.

IN: 0,150 mil Kč

SO 101.1 – Otvírka zemníku

Odstranění náletových dřevin. Sejmутí ornice na ploše cca 6 ha o tloušťce 0,25 m (15000 m³) a přemístění na deponii.

IN: 2,800 mil Kč

SO 102.1 – Doplavení odkaliště, hrubé terénní úpravy

Vytvoření prostoru pro výstavbu redeponizační kazety č. 1, vytvoření prostoru pro mezideponii a důlní dráhu (plocha o velikosti cca 5,8 ha). Vybudování obvodových hrází redeponizační kazety, přístupové komunikace.

IN: 32,300 mil Kč

SO 103.1 – Výstavba redeponizační kazety č. 1

Vybudování hráze o výšce 3,0 m, šířce koruny 5,0 m a sklonem svahů 1:3. Opevnění svahů kamenným pohozením o tloušťce 0,2 m. Sjezd do kazety zpevněn silničními panely.

IN: 12,200 mil Kč

SO 104.1 – Plavící potrubí hydrosměsi

Prodloužení stávajícího plavícího potrubí ke kazetě č. 1 – uložení nového potrubí v délce 2 x 320 m DN 400 s čedičovou vložkou DN 350. Dále naplavovací odbočky v délce 2 x 50 m DN 350 v ocelovém provedení 2 x 4 ks, uložení potrubních chrániček 2 x DN 600 o délce 10 m a celkovému množství 6 ks.

IN: 9,000 mil Kč

SO 105.1 – Podpory pod potrubí

55 ks betonových podpor pod plavící potrubí široké 2 m, ocelové podpory pod odbočky v počtu 45 ks a výšce 3,3 m.

IN: 2,500 mil Kč

SO 106.1 – Přístupové komunikace a obslužné cesty

Pro těžký provoz zemních strojů vybudování dvouproudé přístupové komunikace v délce 1,2 km se šterkovým povrchem. Dále jednoproudá šterková obslužná cesta po obvodu kazety v délce 560 m a šíři 3,5 m.

IN: 11,100 mil Kč

SO 107.1 - Protiprašná opatření na odkališti

Překrytí popelové pláže zeminami o mocnosti 0,2 m a ploše 4 ha a po úpravě povrchu zatravnění.

IN: 0,900 mil Kč

SO 108.1 – Likvidace přepadových věží a sanace odpadního potrubí

Utěsnění a odstavení stávajícího potrubí vratné vody. Vybudování dvou kontrolních šachet DN 1000 s výpustí DN 150. Osazení potrubí vratné vody měřením hladiny pro sledování pohybu hladiny. Zaplavení přepadové věže hydrosměsí.

IN: 0,200 mil Kč

SO 109.1 – Sanace opevnění Tatrovického potoka

Vyspravení nebo nahrazení betonového opevnění koryta v četně podkladních vrstev v délce cca 800 m.

IN: 1,500 mil Kč

SO 110.1 - Převezení povrchových vod

Vybudování záchytného retenčního prostoru v celkové délce 50 m a objemem tělesa 1300 m³ s výškou 3m pro svedení povrchových vod ze západního svahu Smolnické výsypky. Propojení retenčního prostoru s odkalištěm zatrubněným odpadním potrubím DN 400 v délce 350 m. Uložení potrubí do průměrné hloubky 2m a podložení betonovými deskami.

IN: 5,000 mil Kč

Tabulka č. 17 Souhrn nákladu 1. etapa výstavby [9]

PS (SO)	Název provozního souboru (stavebního objektu)	Náklady (mil. Kč)	Způsob financování
PS 001	Rekonstrukce bagrovací stanice	1,900	VPM
SO 101.1	Otvírka zemníku	2,800	VPM
SO 102.1	Doplavení odkaliště, hrubé terénní úpravy	32,300	VPM
SO 103.1	Výstavba redeponizační kazety č. 1	12,200	INV
SO 104.1	Plavící potrubí hydrosměsi	9,000	INV
SO 105.1	Podpory pod potrubí	2,500	INV
SO 106.1	Přístupové komunikace a obslužné cesty	11,100	INV
SO 107.1	Protiprašná opatření na odkališti	0,900	VPM
SO 108.1	Likvidace věží a sanace odpadního potrubí	0,200	INV
SO 109.1	Sanace opevnění Tatrovikého potoka	1,500	INV
SO 110.1	Převedení povrchových vod	4,500	INV
	Strojní vybavení	26,500	
	Celkové náklady	105,400	

2. etapa

SO 102.2 – Doplnění odkaliště, hrubé terénní úpravy

Vytvoření prostoru pro výstavbu redeponizační kazety č. 2 (plocha o velikosti cca 6,7 ha). Vybudování obvodových hrází redeponizační kazety, přístupové komunikace.

IN: 23,700 mil Kč

SO 103.2 – Výstavba redeponizační kazety č. 2

Vybudování hráze o výšce 3,0 m, šířce koruny 5,0 m a sklonem svahů 1:6, resp. 1:3. Opevnění svahů kamenným pohozením o tloušťce 0,2 m. Sjezd do kazety zpevněn silničními panely.

IN: 7,100 mil Kč

SO 104.2 – Plavící potrubí hydrosměsi

Propojení potrubí se severním stávajícím plavícím potrubím a propojení mezi kazetou č. 1 a č. 2 – uložení nového potrubí v délce 2 x 710 m DN 400 s čedičovou

vložkou DN 350. Dále naplavovací odbočky v délce 2 x 100 m DN 350 v ocelovém provedení 10 ks, uložení potrubních chrániček 2 x DN 600 o délce 10 m a množství 4 ks.

IN: 15,500 mil Kč

SO 105.2 – Podpory pod potrubí

120 ks betonových podpor pod plavící potrubí široké 2 m, ocelové podpory pod odbočky v počtu 45 ks a výšce 3,3 m.

IN: 2,800 mil Kč

SO 106.2 – Přístupové komunikace a obslužné cesty

Pro těžký provoz zemních strojů vybudování dvouprouté přístupové komunikace v délce 250 m se šterkovým povrchem. Dále jednoproudá šterková obslužná cesta po obvodu kazety v délce 800 m a šíři 3,5 m.

IN: 4,600 mil Kč

SO 107.2 - Protiprašná opatření na odkališti

Překrytí popelové pláže zeminami o mocnosti 0,2 m a ploše 6 ha a po úpravě povrchu zatravnění. Definitivní ozelenění bude řešeno v rámci rekultivace po ukončení provozu odkaliště.

IN: 1,400 mil Kč

SO 111.2 – Potrubí postřiku

Napojení na stávající severní rozvod postřikové vody a prodloužení rozvodu až k mezideponii ocelovým potrubím DN 200 a délce 830 m. Osazení rozvodu odbočkami pro postřik.

IN: 1,800 mil Kč

Tabulka č. 18 Souhrn nákladu 2. etapa výstavby [9]

PS (SO)	Název provozního souboru (stavebního objektu)	Náklady (mil. Kč)	Způsob financování
SO 102.2	Doplavení odkaliště, hrubé terénní úpravy	23,700	VPM
SO 103.2	Výstavba redeponizační kazety č. 2	7,100	INV
SO 104.2	Plavící potrubí hydrosměsi	15,500	INV
SO 105.2	Podpory pod potrubí	2,800	INV
SO 106.2	Přístupové komunikace a obslužné cesty	4,600	INV
SO 107.2	Protiprašná opatření na odkališti	1,400	VPM
SO 111.2	Potrubí postřiku	1,800	INV
	Strojní vybavení	----	
	Celkové náklady	56,900	

3. etapa

PS 001 – Přívod elektro a trafokiosek

Osazení novou kioskovou trafostanicí s měřením spotřeby elektrické energie rozvaděčem VN, transformátorem 6/0,4 kV 160 kVA a rozvaděčem NN.

IN: 2,400 mil Kč

SO 102.3 – Doplnění odkaliště, hrubé terénní úpravy

Vytvoření prostoru pro výstavbu redeponizační kazety č. 3 (plocha o velikosti cca 6,7 ha). Vybudování obvodových hrází redeponizační kazety, přístupové komunikace.

IN: 29,000 mil Kč

SO 103.3 – Výstavba redeponizační kazety č. 3

Vybudování hráze o výšce 3,0 m, šířce koruny 5,0 m a sklonem svahů 1:6, resp. 1:3. Opevnění svahů kamenným pohozením o tloušťce 0,2 m. Sjezd do kazety zpevněn silničními panely.

IN: 7,100 mil Kč

SO 104.3 – Plavící potrubí hydrosměsi

Přívod potrubí hydrosměsi na severní část kazety č. 3 a propojení se stávajícím rozvodem – uložení nového potrubí v délce 2 x 110 m DN 400 s čedičovou vložkou DN 350. Dále naplavovací odbočky v délce 2 x 100 m DN 350 v ocelovém provedení 10 ks, uložení potrubních chrániček 2 x DN 600 o délce 10 m a množství 5 ks.

IN: 6,500 mil Kč

SO 105.3 – Podpory pod potrubí

20 ks betonových podpor pod plavící potrubí široké 2 m, ocelové podpory pod odbočky v počtu 50 ks a výšce 3,3 m.

IN: 2,700 mil Kč

SO 106.3 – Přístupové komunikace a obslužné cesty

Pro těžký provoz zemních strojů vybudování dvouprouté přístupové komunikace v délce 250 m se šterkovým povrchem. Dále jednoproudá šterková obslužná cesta po obvodu kazety v délce 1010 m a šíři 3,5 m.

IN: 5,300 mil Kč

SO 107.3 - Protiprašná opatření na odkališti

Překrytí popelové pláže zeminami o mocnosti 0,2 m a ploše 6 ha a po úpravě povrchu zatravnění. Definitivní ozelenění bude řešeno v rámci rekultivace po ukončení provozu odkaliště.

IN: 1,400 mil Kč

SO 112.3 – Důlní dráha

Stavba odvozové koleje o rozchodu 1435 mm a celkové délce 1230 m. Trasa povede zářezem ve výsypkovém tělese na kótu 471 m n. m., spád nepřesáhne 20 ‰. Kolejnice tvaru R65 na dřevěných pražcích se šterkovým ložem o mocnosti 500 mm a

s podkladní šterkopískovou vrstvou o mocnosti 200 mm. Odvoz popelovin stávající vlakovou soupravou složené s elektrické lokomotivy E27 a deseti vagóny s jednostranným sypáním LH40.

IN: 10,400 mil Kč

SO 113.3 – Elektrorozvody

Instalace podružných rozvaděčů NN pro venkovní provedení pro rozvod osvětlení. Propojení mobilní buňky a podružných rozvaděčů s novou trafostanicí instalovanou v rámci PS002. Uložení kabeláže do výkopů, pod komunikacemi uložení v chráničkách. Napěťová soustava: 3 NPE – 50 Hz 400/230 V / TN-C-S, příkon pro mobilní buňku a osvětlení $P_i = 14 \text{ kW}$

IN: 1,200 mil Kč

SO 114.3 – Osvětlení

Osazení meziskládky stožáry z příhradové konstrukce s výbojkovými svítidly – osvětlenost dle ČSN 36 0451 s hodnotou 10 – 20 lx, rovnoměrnost 1:10. Dále osazení komunikací silničními svítidly – osvětlenost dle ČSN 36 0410 s hodnotou 2 lx, rovnoměrnost 1:10. Napěťová soustava: 3 NPE – 50 Hz 400/230 V / TN-C-S.

Kabelové propojení stožárů s rozvaděčem je součástí SO 113.3.

IN: 13,900 mil Kč

SO 115.3 – Mobilní buňka

Osazení meziskládky mobilní buňkou pro obsluhu redeponizačních kazet o rozměrech 3 x 6 m, vytápěnou el. přímotopem.

IN: 0,400 mil Kč

Tabulka č. 19 Souhrn nákladu 3. etapa výstavby [9]

PS (SO)	Název provozního souboru (stavebního objektu)	Náklady (mil. Kč)	Způsob financování
PS 002	Přívod elektro a trafokiosek	2,400	INV
SO 102.3	Doplavení odkaliště, hrubé terénní úpravy	29,000	VPM
SO 103.3	Výstavba redeponizační kazety č. 3	7,100	INV
SO 104.3	Plavící potrubí hydrosměsi	6,500	INV
SO 105.3	Podpory pod potrubí	2,700	INV
SO 106.3	Přístupové komunikace a obslužné cesty	5,300	INV
SO 107.3	Protiprašná opatření na odkališti	1,400	VPM
SO 112.3	Důlní dráha	10,400	VPM
SO 113.3	Elektorozvody	1,200	INV
SO 114.3	Osvětlení	13,900	INV
SO 115.3	Mobilní buňka	0,400	INV
	Strojní vybavení	7,000	
	Celkové náklady	87,300	

Provozní náklady pro stroje a zařízení

Tabulka č. 20 Provozní náklady pro stroje a zařízení

Provozní náklady v Kč / Mth			
Stroj	Kolový nakladač	Rýpadlo pásové	Nákladní automobil
Pohonné hmoty	280	420	250
Maziva	65	80	45
Opravy	200	310	160
Servis	65	98	52
Celkem	610	908	507

Roční provozní náklady všech strojů činí cca 13,500 mil. Kč

Provozní náklady všech strojů za období 01/2014 – 12/2030 činí **216,000 mil Kč**

Provozní náklady pro důlní dráhu

Průměrné náklady na přepravu 1 m ³ materiálu	35,- Kč
Průměrné náklady na založení 1 m ³ materiálu	5,- Kč
Celkem	40,- Kč

Objem přesunovaného materiálu 159 250 m³/rok → 6,370 mil. Kč/rok
Provozní náklady od 01/2014 do 12/2030 **101,920 mil. Kč**

Mzdové náklady

Tabulka č. 21 Mzdové náklady

Stroj	Obsluha / směnnost	Hodiny / rok	Náklady v Kč/ rok
Drapák	4/3	50 týdnů x 5 dní x 24 hod = 6000 hod	1.200 000
Rýpadlo	2/2	50 týdnů x 5 dní x 16 hod = 4000 hod	800 000
Čelní nakladač v kazetě	2/2	50 týdnů x 5 dní x 16 hod = 4000 hod	800 000
Nákl. automobil	3/2	3(50 týdnů x 5 dní x 16 hod) = 12000 hod	2.400 000
Čelní nakladač na mezideponii	4/3	50 týdnů x 5 dní x 24 hod = 6000 hod	1.200 000
Celkem za rok			8.000 000

Celkové mzdové náklady za období 01/2014 do 12/2030 **128,000 mil. Kč**

Celkové provozní náklady

Provozní náklady strojů	216,000 mil. Kč
Provozní náklady důlní dráhy	101,920 mil. Kč
<u>Mzdové náklady</u>	<u>128,000 mil. Kč</u>
Provozní náklady za období 01/2014 – 12/2030	445,920 mil. Kč

Celkové náklady

Investiční náklady	249,600 mil. Kč
<u>Provozní náklady</u>	<u>445,920 mil. Kč</u>
Celkové náklady za likvidaci popelovin	695,520 mil. Kč

Celkový objem redeponovaných popelovin 4,656 mil. m³ → 6,183 mil. t

Jednotkové náklady za likvidaci popelovin **113 Kč/t**

Tabulka č. 22 Souhrnný přehled nákladů

	Investiční náklady mil. Kč	Provozní náklady mil. Kč	Celkové náklady mil. Kč	Jednotkové náklady Kč/t
Ukládání odpadů		2609,208	2609,208	422
Redeponizace	249,600	445,920	695,520	113

6 Doporučení a Závěr

Bylo provedeno hrubé ekonomické zhodnocení a to pro horizont teoretické životnosti zpracovatelské části SU, a.s., tj. do roku 2030. Zhodnocení není zcela přesné, protože životnost stavby pro redeponizaci je cca dvojnásobná.

V daném období je úspora nákladů ve výši necelých 2,000 miliard Kč v cenové úrovni roku 2013. Když by došlo po roce 2014 ke zvýšení poplatku za uložení odpadu z nynějších 500 Kč/t, byla by úspora ještě vyšší.

Z výše uvedených čísel jednoznačně vyplývá, že certifikace s následným redeponováním popelovin je jednoznačně výhodnější a doporučuji organizacím, které ukládají energetické produkty jako odpad, přejít na ekonomicky i ekologicky výhodnější variantu využití těchto produktů v oblasti stavebního průmyslu.

Necelých 15 miliónů tun VEP ročně vyprodukuje ČR. Ne všechny organizace s těmito produkty nakládají jako s certifikovaným stavebním materiálem, ale stále je ukládají jako odpad. Pro svou nízkou cenu v řádech desítek korun za tunu, jsou VEP ekonomicky výhodnou alternativou v porovnání s primárními zdroji, jako např. kamenivo, slínek, sádrovec aj. S budoucím úbytkem primárních zdrojů surovin lze předpokládat, že se bude zvyšovat zájem o využití energetických produktů ve stavebnictví.

Pro větší využití VEP ve stavebním průmyslu je zapotřebí přijmout nová legislativní opatření, která povedou k povinnosti využívat tyto produkty v projektech v rámci státních zakázek, např. při výstavbě dopravní infrastruktury. Dále podpořit výzkum při vývoji nových stavebních materiálů atd. Veškeré kroky vedoucí ke zvýšení využití vedlejších energetických produktů znamenají značný přínos pro hospodářství České republiky.

Seznam použité literatury

- 1 ASVEP.: *Sborník přednášek – Popílký ve stavebnictví 2013*. Brno 2013
- 2 LEBEDA J.: *Technologický reglement sekce Generátorovna*. SU, a.s. 2007
- 3 BEZDĚK J., ARBES J.: *Popílkové betony*. Praha 1975
- 4 DOUŠA D., POLICKÝ P.: *Likvidace popelů z energetických výroben*. Praha 1977
- 5 JÍLEK J.: *Moderní způsoby zplyňování paliv kyslíkem*. Praha 1953
- 6 ŽDÁRSKÝ B.: *Obsluha tlakového generátoru*. SU, a.s. 2002
- 7 VYSOPAL G.: *Bagrovací stanice*. SU, a.s. 2006
- 8 MPaO ČR.: *Surovinová politika České republiky*. Praha 2012. Dostupné na WWW: < <http://www.mpo.cz/dokument106134.html> >
- 9 BENEŠ I., SŮSA L.: *Redepnizace popelů – Investiční záměr*. SU, a.s. 2004
- 10 PARI J.: *Redepnizace VOP – Intrní dokument*. SU, a.s. 2012
- 11 ROUBÍČEK V., BUCHTELE J.: *Uhlí – zdroje, procesy, užití*. Ostrava 2002
- 12 MINISTERSTVO DOPRAVY ČR.: *Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů*. Praha 2011
- 13 ASVEP.: *Technické podmínky*. Brno 2012. Praha 2012. Dostupné na WWW: < <http://www.asvep.cz/web3.web4ce.cz> >
- 14 ČESKOMORAVSKÝ BETON.: *Beton – příručka technologa*. 2013. Dostupné na WWW: < <http://www.transportbeton.cz/> >
- 15 EXPO DATA SPOL. S. R. O.: *Stavebnictví*. Dostupné na WWW: < <http://www.casopisstavebnictvi.cz/> >
- 16 CARROLL R. A., GUEST J. E.: *Sborník konference o pórobetonu*. Londýn 2005
- 17 PORFIX CZ A.S.: *O pórobetonu*. Dostupné na WWW: < <http://www.porfix.cz/o-porobetonu/?mnu=159> >
- 18 DIRNER V., KURAŠ M.: *Modul 6 – Odpadové hospodářství*. Dostupné na WWW: < <http://www.hgf.vsb.cz/instituty-a-pracoviste/cs/546/studijni-materialy/> >
- 19 ČEZ, S.R.O.: *Energetické produkty*. Dostupné na WWW:

- < <http://www.cezep.cz/> >
- 20 HBZS – PRAHA, A.S.: Stabilizát HBZS. Dostupné na WWW:
< <http://www.hbzs-praha.cz/nabidka-sluzeb/stabilizat> >
- 21 BYDŽOVSKÝ J. a kol.: *BJ56 – Vybrané statě z technologie stavebních hmot*.
Brno 2011. Dostupné na WWW:
< http://thd.fce.vutbr.cz/soubory/files/bj56_vybrane_state_tech_stav_hmot/bj56_studijni_text.pdf >
- 22 ČERNÝ V.: *Optimalizace parametrů samovýpalu spékaného popelového kameniva*. Brno 2006

Přílohy

- 1 *Výkres – Tlakový generátor, Zdroj SU, a.s.*
- 2 *Mapa odkaliště pro redeponizaci VOP, Zdroj SU, a.s.*
- 3 *Obrázek č. 1 Těžba odvodněné kazety, Zdroj SU, a.s.*
- 4 *Obrázek č. 2 Nakládka VEP do vagónů LH40, Zdroj SU, a.s.*
- 5 *Obrázek č. 3 Hráz odkaliště s plavícím potrubím hydrosměsi, Zdroj SU, a.s.*